

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE ATERRO SOBRE SOLOS MOLES

ESTUDO DE CASO

Cassiana de Campos Teixeira (1), Pedro Arns (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
cassianact@yahoo.com.br (1), p.arns@terra.com.br (2)

RESUMO

O presente trabalho apresenta a análise de estabilidade de um aterro sobre solos moles, numa região caracterizada por Depósitos Continentais, que contém a formação Depósito de “Bajada”, na cidade de Tubarão - SC. Torna-se cada vez mais frequente, a utilização de áreas com características geológico-geotécnicas desfavorecidas, com presença de grandes camadas de solos moles para construção. Devido a essas características, são necessários ensaios para conhecimento do solo que receberá a carga, garantindo o dimensionamento correto de aterros e fundações. Os ensaios de *Standard Penetration Test* (SPT) e vane test forneceram dados para a obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo compressível saturado. Verificou-se que os valores de SPT ultrapassaram a resistência real do solo mole, adotando-se os dados do ensaio de vane test para o dimensionamento do aterro. O objetivo deste trabalho é viabilizar a execução de um aterro alcançando um fator de segurança $\geq 1,500$, garantindo a integridade física dos profissionais, e econômica do patrimônio da indústria que será implantada na área objeto de estudo. Para tal, foi necessário encontrar soluções viáveis, pois em condições naturais, a ruptura do solo seria iminente, devido à altura crítica do aterro ser inferior a cota de inundação do município, estabelecida pela Defesa Civil. Após a determinação dos parâmetros geotécnicos, foram obtidas cinco soluções para a execução e estabilidade do aterro. Sendo todas viáveis tecnicamente, a solução a ser aplicada, foi baseada na viabilidade econômica. Mesmo necessitando de uma grande área de desapropriação e bermas de equilíbrio, com volume total de 55.184,08 m³ de saibro argiloso, esta foi a solução escolhida, por apresentar um custo inferior de aproximadamente 545% com relação à solução reforço de aterro com geogrelhas, que dispensa desapropriação de área.

Palavras-Chave: Estabilidade de Aterro, SPT, Vane Test, Bermas de Equilíbrio.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento econômico do Brasil nos últimos anos, os investimentos aplicados na execução das obras da Copa do Mundo de 2014 e das olimpíadas de 2016, inflacionaram os valores dos terrenos destinados à construção imobiliária. Essa inflação obrigou as construtoras a buscarem áreas, antes não cogitadas, devido as suas características geológico-geotécnicas, porém de preços baixos.

O município de Tubarão encontra-se localizado no sul de Santa Catarina e na zona costeira brasileira. Segundo Higashi (2006), a zona costeira brasileira apresenta relevo acidentado e/ou grandes extensões de áreas planas, de características geotécnicas variadas, que podem apresentar solos sedimentares, com profundos perfis de argilas moles, areias quartzosas e solos residuais, de diferentes rochas de origem.

A área objeto de estudo, deste trabalho, encontra-se na porção do município de Tubarão, caracterizada pela ocorrência de solos moles. Logo, a implantação de qualquer estrutura (aterros, estradas, edificações, etc.) neste local, deve contemplar soluções que garantam a sua estabilidade, quanto à ruptura global e a manutenção dos recalques pós-construtivos, dentro de limites aceitáveis.

No presente trabalho, foram avaliadas soluções técnico-econômicas, que garantam a estabilidade, quanto à ruptura global, de um aterro destinado à implantação de uma indústria. O mesmo terá sete metros de altura, sendo dois metros acima da cota de inundação (5,00 metros), determinada pela Defesa Civil do município.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O embasamento teórico para os temas tratados (tensões em massa de solo, resistência ao cisalhamento, estabilidade de taludes, etc.), foi feito através de uma ampla pesquisa bibliográfica. Após este, foram realizadas visitas a campo, para acompanhamento de investigações geotécnicas diretas (sondagem à percussão e mista) e ensaios *In Situ* (vane test).

Com base nas informações obtidas por meio das investigações geotécnicas diretas, e pela análise do mapa geológico da cidade, foi possível traçar o perfil estratigráfico estimado do solo de fundação da área, bem como, determinar os parâmetros geotécnicos de resistência ao cisalhamento dos solos que constituem o mesmo. De posse da estratigrafia e dos parâmetros geotécnicos do solo de fundação e do solo do aterro, obtidos de Santos (2008), realizou-se as análises de estabilidade do referido aterro, através do método de Bishop (1955) por meio do software Slide do Grupo Rocscience. As análises de estabilidade tiveram por objetivo definir a geometria e as soluções geotécnicas que garantissem um fator de segurança admissível (FS_{adm}) de 1,500. E por fim, levantaram-se os custos de implantação das

soluções estudadas, com o intuito de definir, entre elas, a que é técnica e economicamente mais viável.

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA OBJETO DE ESTUDO

A área objeto estudo, destinada à implantação do aterro para a construção de uma indústria, mede 200 x 150 m e fica localizada as margens do rio Tubarão, na avenida Ageu da Silva Medeiros, Bairro Campestre, no município de Tubarão-SC.

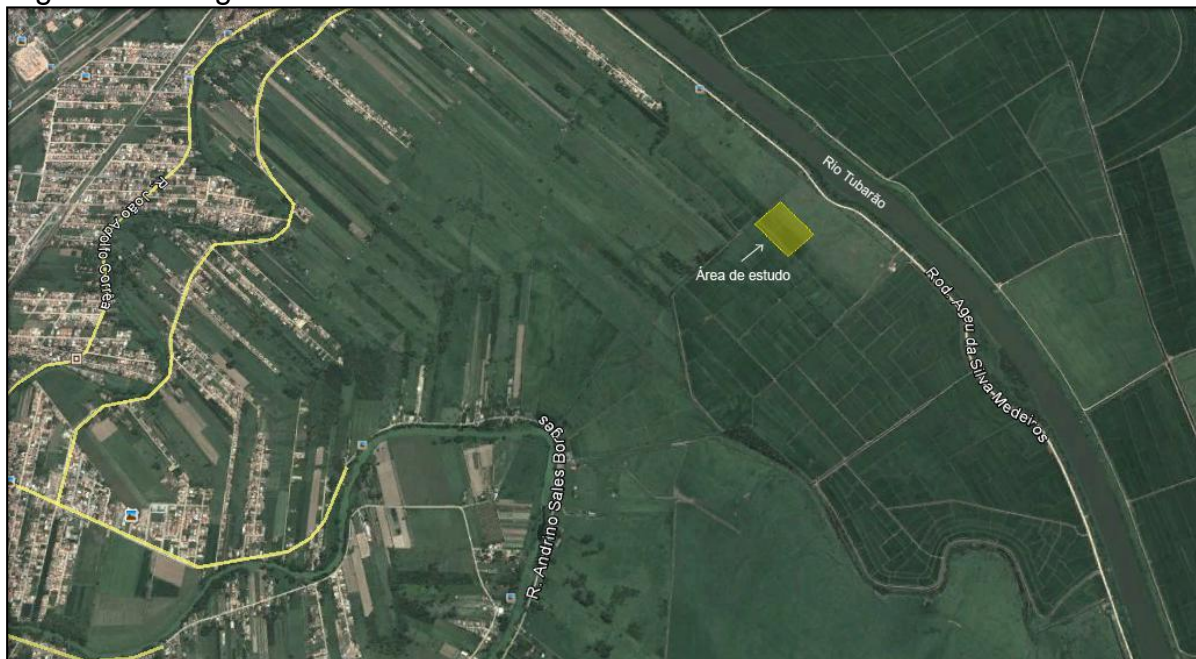
A tabela 01 apresenta as coordenadas Universal Transversa Mercator (UTM) dos vértices da área e a figura 01 a área em estudo.

Tabela 01: Coordenadas UTM (DATUM SIRGAS, 2000) dos vértices da área.

Vértices	Norte	Este
V-01	6.847.349,5284	699.594,1995
V-02	6.847.450,4401	699.705,1807
V-03	6.847.302,4650	699.839,7296
V-04	6.847.201,5534	699.728,7583

Fonte: Autor, 2014.

Figura 01: Imagem da área em estudo



Fonte: Google Maps, 2014.

2.2 GEOLOGIA

2.2.1 Geologia Local

A área estudada encontra-se inserida numa região de baixada, caracterizada por Depósitos Continentais de “Bajada”, mais precisamente, Depósitos Fluviodeltáico-Marinhos.

Estes depósitos caracterizam-se por apresentar: lamas, areias biodetríticas, areias arcossianas, cascalhos e seixos que se apresentam sobrepostos em função de episódios distintos de variações do nível relativo do mar.

2.3 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

A elaboração do projeto de aterro sobre solos moles requer um conhecimento adequado da estratigrafia do subsolo e das propriedades geotécnicas dos materiais envolvidos. Estas informações são obtidas, normalmente, através de ensaios de campo, como no presente caso. Para tanto, foram realizados, na área, dois furos de sondagem à percussão, um de sondagem mista (Figura 02) e três (Figura 03) para realização de oito ensaios vane test, em diferentes profundidades.

Figura 02: Sondagem de mista (SM)



Fonte: Autor, 2014.

Figura 03: Ensaio Vane Test



Fonte: Autor, 2014.

As tabelas 02 e 03 apresentam as coordenadas UTM dos furos de sondagem e de vane test, respectivamente, bem como as cotas do terreno.

Tabela 02: Coordenadas UTM (DATUM SIRGAS 2000) dos furos de sondagem.

Furos	Norte (m)	Este (m)	Cota (m)
SP-01	6.847.306,7568,	699.784,1690	4,637
SM-01	6.847.340,3576	699.738,3507	4,467
SP-02	6.847.387,4058	699.711,9973	4,559

Fonte: TBSA, 2014.

Tabela 03: Coordenadas UTM (DATUM SIRGAS 2000) dos furos de vane test.

Furos	Norte (m)	Este (m)	Cota (m)
VT-SP-01	6.847.306,1316	699.782,5215	4,582
VT-SM-01	6.847.386,3021	699.709,6758	4,529
VT-SP-02	6.847.319,1796	699.716,2336	4,491

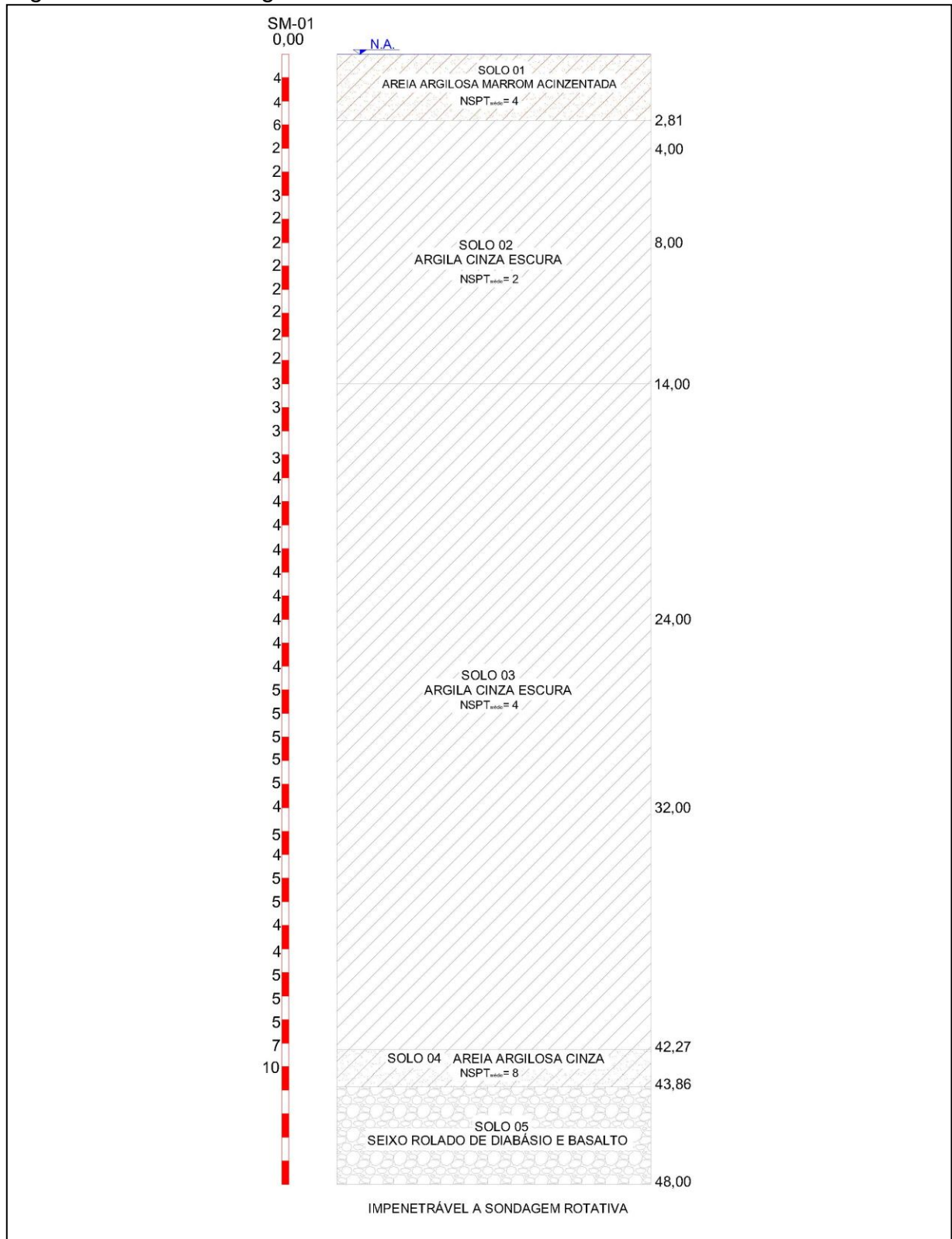
Fonte: TBSA, 2014.

2.3.1 Caracterização Geotécnica do Solo de Fundação

A análise dos boletins de sondagem demonstra que a estratigrafia do solo de fundação, representada na Figura 04, é composta por cinco tipos de solos, que se encontram distribuídos ao longo da profundidade da seguinte forma:

- Solo 01 (2,81 m de espessura): areia argilosa, marrom acinzentada, fofa;
- Solo 02 (11,19 m de espessura): argila, cinza escura, consistência muito mole;
- Solo 03 (28,27 m de espessura): argila, cinza escura, consistência mole;
- Solo 04 (1,59 m de espessura): areia argilosa, cinza, pouco compacta;
- Solo 05: seixo rolado de diabásio e basalto, cinza (detectado no furo SM-01).

Figura 04: Perfil Estratigráfico Adotado



Fonte: Autor, 2014.

2.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

Para a realização das análises de estabilidade, quanto à ruptura, do aterro e do solo de fundação, é preciso determinar os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais que constituem os mesmos. Neste caso, esses parâmetros, foram determinados através de correlações com o NSPT, de ensaios laboratoriais (resistência ao cisalhamento direto) e de campo (vane test).

O peso específico (γ), o ângulo de atrito (ϕ) e a coesão não drenada (c_u), dos materiais que constituem o solo de fundação, foram determinados através de correlações com o NSPT.

Os valores de γ adotados, foram os sugeridos por Godoy (1972), para solos arenosos e argilosos.

Teixeira & Godoy (1996) sugerem, quando não se dispõe de resultados de ensaios laboratoriais, que se estime o valor de c_u , através da correlação com o NSPT, sendo:

$$c_u = 10 \cdot \text{NSPT}_{\text{médio}}$$

Para a determinação do ângulo de atrito dos solos, através do NSPT, adotou-se a equação proposta por Teixeira (2006):

$$\phi = \sqrt{20 \cdot \text{NSPT}_{\text{médio}}} + 15$$

A Tabela 04 apresenta os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais, determinados através de correlações com o NSPT.

Tabela 04: Parâmetros geotécnicos segundo ensaio de NSPT.

Amostras	NSPT _{médio}	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
Solo 1 - Areia Argilosa	4	19	0	23,94
Solo 2 – Argila	2	13	20,00	0
Solo 3 - Argila	4	15	40,00	0
Solo 4 - Areia Argilosa	8	19	0	27,65
Solo 5 - Seixo Rolado	Camada de resistência infinita			

Fonte: Autor, 2014.

A coesão não drenada (c_u) dos solos 02 e 03, também foi determinada através de ensaios de campo, tipo vane test, realizados pela empresa Solo Sondagem.

A Tabela 05 traz os valores de $c_{u \text{ médio}}$ dos solos supracitados.

Tabela 05: Valores de $c_{u \text{ médio}}$ dos solos 02 e 03.

Amostras	c_u (kN/m^2)
Solo 2 - Argila	20,43
Solo 3 - Argila	41,84

Fonte: Autor, 2014.

Observa-se, que os valores c_u dos solos 02 e 03, determinados através de correlações com o NSPT, ficaram muito próximos aos valores obtidos no ensaio vane test. No entanto, em virtude do caráter generalista das correlações, adotou-se para os referidos solos, os valores de c_u obtidos pelo ensaio vane test.

O solo a ser utilizado para execução do aterro é um saibro argiloso de coloração avermelhada, que ocorre em abundância na região do município de Tubarão – SC. Os parâmetros de resistência ao cisalhamento do mesmo foram determinados por Santos (2008) e encontram-se na Tabela 06.

Tabela 06: Parâmetros geotécnicos do aterro

Amostra	γ (kN/m^3)	c (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)
Aterro	20	0	33

Fonte: Santos, 2008.

A Tabela 07 apresenta os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos envolvidos nas análises de estabilidade.

Tabela 07: Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos.

Amostras	γ (kN/m^3)	c_u (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)
Aterro	20,0	0,00	33,00
Solo 1 - Areia Argilosa	19,0	0,00	23,94
Solo 2 – Argila	13,0	20,43	0,00
Solo 3 - Argila	15,0	41,84	0,00
Solo 4 - Areia Argilosa	19,0	0,00	27,65
Solo 5 - Seixo Rolado	Camada de resistência infinita		

Fonte: Autor, 2014.

2.5 DEFINIÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA ADMISSÍVEL

A definição do fator de segurança admissível (FS_{adm}), adotado nas análises de estabilidade, quanto à ruptura (análise de estabilidade global), levou em consideração, o risco de perdas de vidas humanas e perdas econômicas, como recomenda a GEORIO (2000).

A Tabela 08 apresenta os valores de FS_{adm} recomendados pela mesma.

Tabela 08: Fatores de segurança admissíveis recomendados

		RISCO DE PERDA DE VIDAS HUMANAS		
FS_{adm}				
		Desprezível	Médio	Elevado
RISCO DE PERDAS ECONÔMICAS	Desprezível	1,1	1,2	1,4
	Médio	1,2	1,3	1,4
	Elevado	1,4	1,4	1,5

Fonte: GEORIO, 2000.

Levando-se em consideração os riscos mencionados, optou-se por um elevado risco de perdas de vidas humanas e econômicas, devido ao fato da indústria possuir um grande número de profissionais, durante o expediente de trabalho e possuir materiais de grande valor econômico. Logo, adotou-se um FS_{adm} de 1,500.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 DETERMINAÇÃO DA ALTURA CRÍTICA DO ATERRO

A determinação da altura máxima que o aterro poderá atingir, ou seja, a altura crítica (H_c), foi obtida através da seguinte equação:

$$H_c = (5,14 \times c_u) / (\gamma_{aterro} \times FS_{adm})$$

Onde:

H_c = altura crítica (m);

c_u = resistência ao cisalhamento não drenada (kN/m²);

γ_{aterro} = peso específico do aterro (kN/m^3);

FS_{adm} = fator de segurança admissível.

Logo,

$$H_c = (5,14 \times 20,43) / (20 \times 1,500)$$

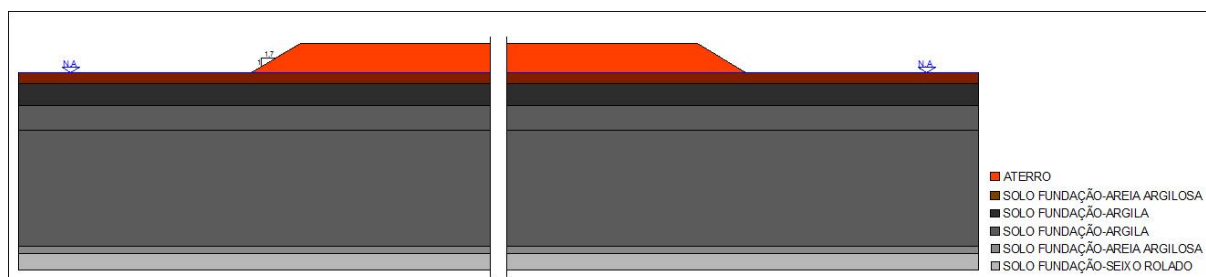
$$H_c = 3,50 \text{ m}$$

A altura crítica de 3,50 metros é inferior a cota de inundação do local (5,00 metros), fato esse, que inviabiliza a execução do mesmo, sem a introdução de medidas estabilizadoras, que garantam o FS_{adm} de 1,500.

3.2 SOLUÇÕES VIÁVEIS À CONSTRUÇÃO DO ATERRO

Para as análises de estabilidade global das soluções estudadas, tomou-se como base a seção longitudinal da área, representada na Figura 05, e os parâmetros geotécnicos dos solos que compõem a mesma, os quais se encontram na Tabela 07. As referidas análises foram feitas através do método de Bishop (1955).

Figura 05: Seção Longitudinal da Área



Fonte: Autor, 2014.

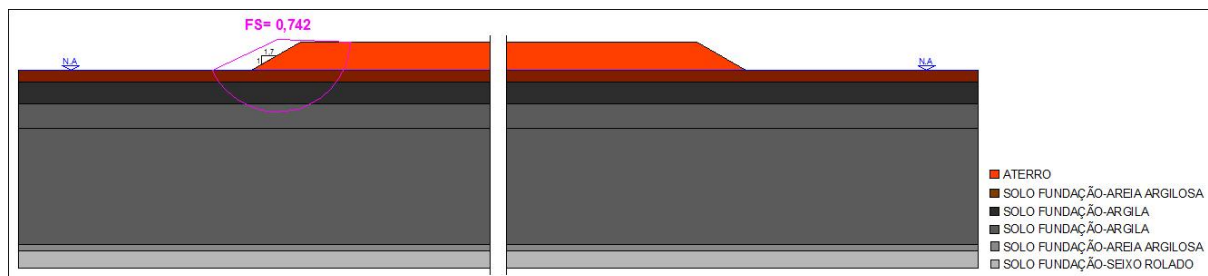
3.2.1 Substituição de Solo Mole

Uma das soluções estudadas foi a substituição da camada de areia argilosa, marrom acinzentada (Solo 01), por uma camada drenante de areia pura, com ϕ de 33° , uma vez que a espessura da mesma (2,81 metros), é menor que 3,00 metros, como recomenda o Departamento Nacional de Infraestrutura (DNIT).

O fator segurança obtido para essa solução, foi de $0,742 < 1,500$, inviabilizando a aplicação da mesma.

A Figura 06 apresenta a superfície de ruptura, com seu respectivo FS.

Figura 06: Resultado da Análise com Substituição da Camada de Areia Argilosa



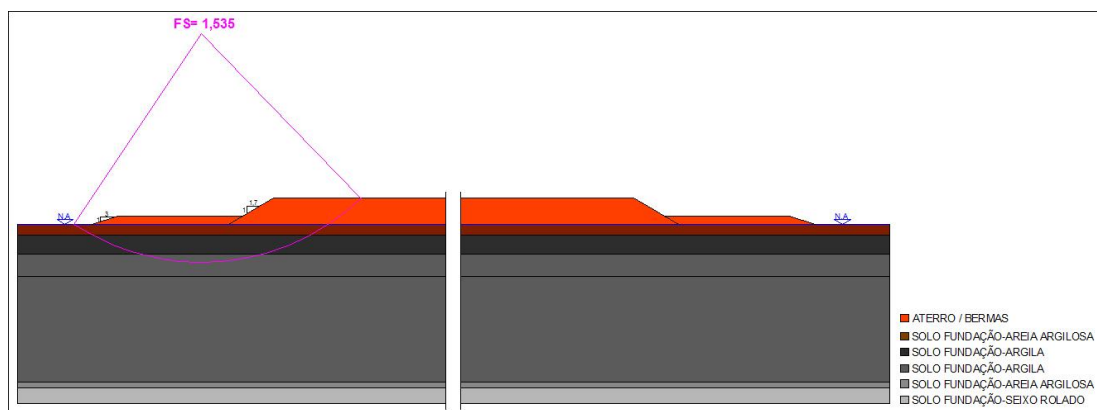
Fonte: Autor, 2014.

3.2.2 Bermas de Equilíbrio

Uma das soluções mais adotadas para estabilizar e/ou viabilizar técnica e economicamente a construção de aterros sobre solos moles, são as bermas de equilíbrio. Logo, foram realizadas análises de estabilidade para diferentes dimensões destas.

A berma que atendeu o FS_{adm} possui 36,50 metros (para cada lado do aterro) e espessura de 2,25 metros. A Figura 07 apresenta a superfície de ruptura, com seu respectivo FS.

Figura 07: Resultado da Análise com Bermas de Equilíbrio



Fonte: Autor, 2014.

3.2.3 Reforço do Aterro com Geogrelhas

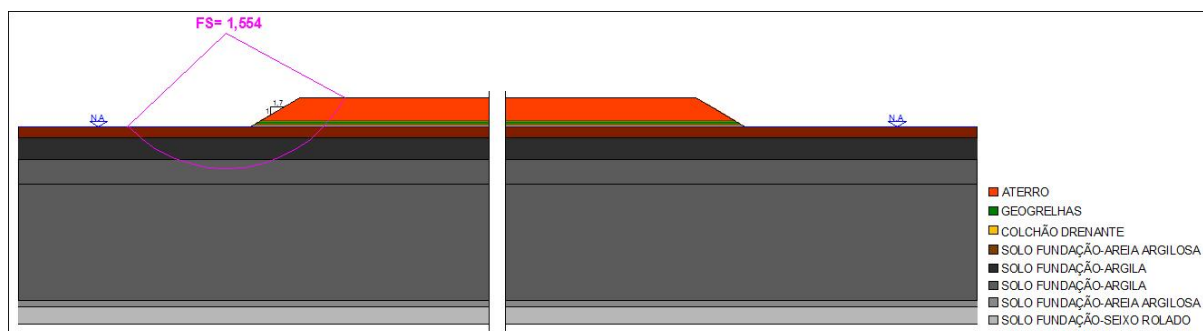
O reforço do aterro com geogrelhas surge como uma alternativa de solução, que evita a desapropriação da área destinada à implantação das bermas de equilíbrio,

que circundam a mesma. Salienta-se, que desapropriação gera negociações demoradas, transtornos e aumento de custos.

A geogrelha adotada na análise de estabilidade, como reforço, é a soldada de poliéster, tipo L 500, com resistência última a tração longitudinal de 500 kN/m, monoaxial e com deformação no escoamento de 12%.

Para atender o FS_{adm} , reforçou-se o aterro com quatro linhas de geogrelhas, tipo L 500, com espaçamento de 0,30 metros, entre elas. Cabe ressaltar que entre o solo natural e o colchão drenante, com 0,50 metros de espessura, foi aplicado um geotêxtil, para evitar a contaminação do solo do aterro. A Figura 08 apresenta a superfície de ruptura, com seu respectivo FS e o posicionamento das geogrelhas.

Figura 08: Resultado da Análise com Geogrelhas



Fonte: Autor, 2014.

A Tabela 09 traz os comprimentos das linhas de geogrelhas a serem adotadas nas seções longitudinais e transversais do aterro.

Tabela 09: Resumo das dimensões das geogrelhas.

Linhas	Espaçamento entre geogrelhas (m)	Comprimento Longitudinal (m)*	Comprimento Transversal (m)*
1ª Linha	0,30	194,00	144,00
2ª Linha		167,00	117,00
3ª Linha		162,00	112,00
4ª Linha		160,00	110,00

* Extensão: Ao longo da profundidade

Fonte: Autor, 2014.

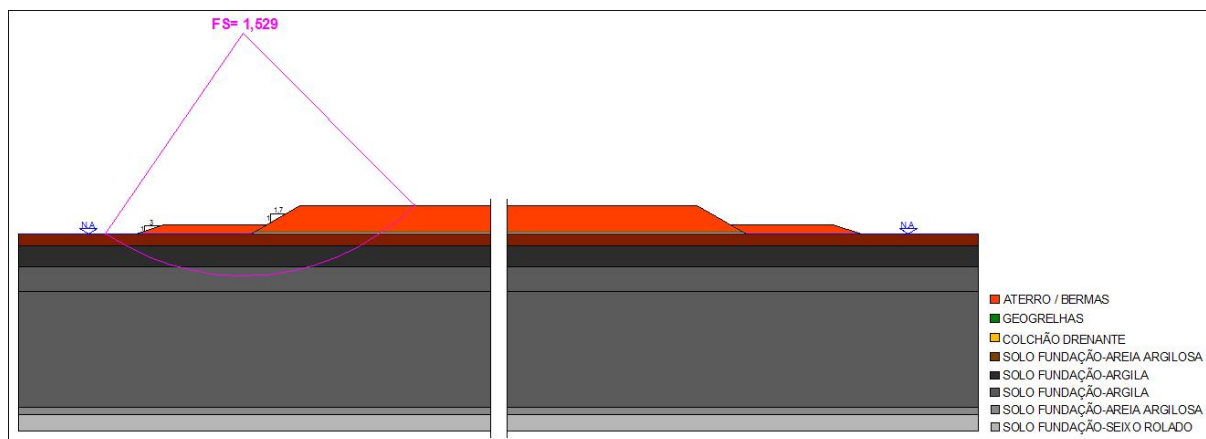
A geogrelha WG 600 tecida, com resistência última à tração longitudinal de 600 kN/m, monoaxial e com deformação no escoamento de 12% é equivalente à L 500 e pode ser utilizada sem que haja perda das propriedades de resistência do conjunto.

3.2.4 Bermas de Equilíbrio Associadas ao Reforço do Aterro com Geogrelhas

Com o intuito de reduzir o número de linhas de geogrelhas, bem como, reduzir o comprimento das mesmas e das bermas de equilíbrio, foram realizadas várias análises referentes à utilização conjunta, de bermas e geogrelhas, (L 500), para estabilizar e viabilizar a implantação do aterro. Três soluções atenderam o FS_{adm} :

Solução A: Bermas com 28,00 metros (para cada lado do aterro) e espessura de 2,25 metros, associadas a uma linha de geogrelha, apoiada sobre colchão drenante. A Figura 09 apresenta a superfície de ruptura, com seu respectivo FS e o posicionamento da geogrelha.

Figura 09: Resultado da Análise com Bermas mais Geogrelhas - 1 Linha.



Fonte: Autor, 2014.

A Tabela 10 traz o comprimento da linha de geogrelha a ser adotada nas seções longitudinais e transversais do aterro.

Tabela 10: Resumo das dimensões das geogrelhas

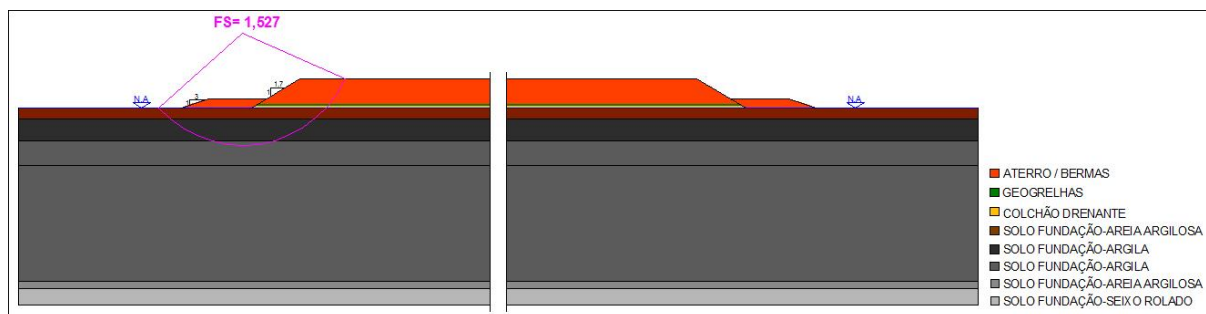
Linhas	Espaçamento entre geogrelhas (m)	Comprimento Longitudinal (m)	Comprimento Transversal (m)
1ª Linha	0,30	163,00	113,00

Fonte: Autor, 2014.

Solução B: Bermas com 17,00 metros (para cada lado do aterro), espessura de 2,25 metros, associadas a duas linhas de geogrelhas, com espaçamento entre elas de 0,30 metros, apoiadas sobre colchão drenante.

A Figura 10 apresenta a superfície de ruptura, com seu respectivo FS e o posicionamento das geogrelhas.

Figura 10: Resultado da Análise com Bermas mais Geogrelhas - 2 Linhas.



Fonte: Autor, 2014.

A Tabela 11 traz os comprimentos das linhas de geogrelhas a serem adotadas nas seções longitudinais e transversais do aterro.

Tabela 11: Resumo das dimensões das geogrelhas.

Linhas	Espaçamento entre geogrelhas (m)	Comprimento Longitudinal (m)*	Comprimento Transversal (m)*
1ª Linha	0,30	183,00	133,00
2ª Linha		176,00	126,00

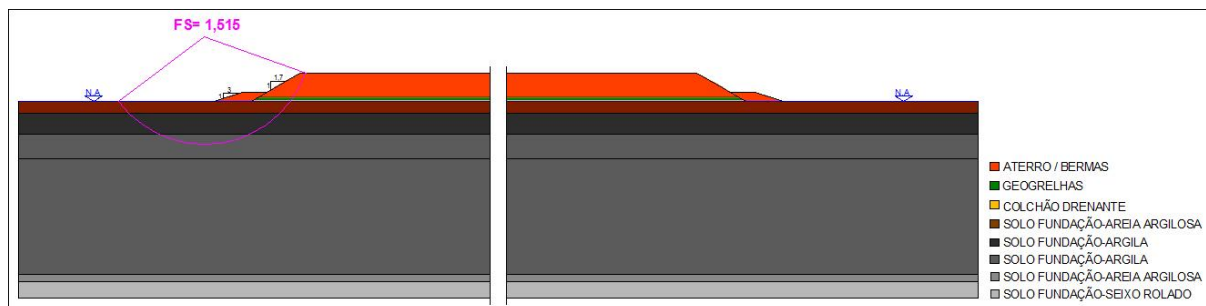
* Extensão: Ao longo da profundidade

Fonte: Autor, 2014.

Solução C: Bermas com 9,00 metros (para cada lado do aterro), espessura de 2,25 metros, associadas a três linhas de geogrelhas, com espaçamento entre elas de 0,30 metros e apoiadas sobre colchão drenante.

A Figura 11 apresenta a superfície de ruptura, com seu respectivo FS e o posicionamento das geogrelhas.

Figura 11: Resultado da Análise com Bermas mais Geogrelhas - 3 Linhas.



Fonte: Autor, 2014.

A Tabela 12 traz os comprimentos das linhas de geogrelhas a serem adotadas nas seções longitudinais e transversais do aterro.

Tabela 12: Resumo das dimensões das geogrelhas

Linhas	Espaçamento entre geogrelhas (m)	Comprimento Longitudinal (m)*	Comprimento Transversal (m)*
1ª Linha	0,30	179,00	129,00
2ª Linha		179,00	129,00
3ª Linha		179,00	129,00

Fonte: Autor, 2014.

3.3 ESTIMATIVA DE CUSTOS DAS SOLUÇÕES VIÁVEIS ENCONTRADAS

As tabelas 13, 14, 15, 16 e 17 apresentam os custos de implantação das soluções tecnicamente viáveis encontradas, demonstrando os valores de cada serviço a ser executado, assim como o valor dos montantes finais.

Para a escolha da solução ideal, considera-se então, a viabilidade técnico-econômica, fazendo-se necessário, a análise de custos frente às soluções encontradas para a escolha da mesma.

A tabela resumo facilita a análise dos valores, bem como sua escolha, e o gráfico comparativo de custos, possibilita o entendimento do quão grande pode ser a economia ou o gasto, de acordo com a solução adotada.

Tabela 13: Tabela de Custos

BERMAS DE EQUILÍBRIO					
Item	Serviços	Unid.	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
1.0	Berma				
1.1	Material Posto em Obra - DMT= 10 km	m ³	55184,08	38,04	2099202,40
1.2	Compactação de Aterros 100 % PN	m ³	55184,08	4,58	252743,09
1.3	Desapropriação	m ²	30879,00	15,00	463185,00
				TOTAL R\$	2.815.130,49

Fonte: DEINFRA; Maccafferri do Brasil.

Tabela 14: Tabela de Custos

REFORÇO DO ATERRO COM GEOGRELHAS					
Item	Serviços	Unid.	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
1.0	Reforço de Solo-Geogrelha WG 600				
1.1	Fornecimento e Aplicação	m ²	166438,00	85,50	14230449,00
2.0	Geotêxtil Não Tecido - RT 8 kN/m				
2.1	Fornecimento e Aplicação	m ²	30000,00	3,39	101700,00
3.0	Colchão de Areia Comercial				
3.1	Fornecimento de Areia	m ³	14936,25	67,75	1011930,94
				TOTAL R\$	15.344.079,94

Fonte: DEINFRA; Maccafferri do Brasil.

Tabela 15: Tabela de Custos

BERMAS DE EQUILÍBRIO ASSOCIADAS AO REFORÇO DO ATERRO COM GEOGRELHAS - 1 LINHA					
Item	Serviços	Unid.	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
1.0	Berma				
1.1	Material Posto em Obra - DMT= 10 km	m ³	41796,58	38,04	1589941,90
1.2	Compactação de Aterros 100 % PN	m ³	41796,58	4,58	191428,34
1.3	Desapropriação	m ²	22736,00	15,00	341040,00
2.0	Reforço de Solo-Geogrelha WG 600				
2.1	Fornecimento e Aplicação	m ²	36838,00	85,50	3149649,00
3.0	Geotêxtil Não Tecido - RT 8 kN/m				
3.1	Fornecimento e Aplicação	m ²	30000,00	3,39	101700,00
4.0	Colchão de Areia Comercial				
4.1	Fornecimento de Areia	m ³	14936,25	67,75	1011930,94
				TOTAL R\$	6.385.690,18

Fonte: DEINFRA; Maccafferri do Brasil.

Tabela 16: Tabela de Custos

BERMAS DE EQUILÍBRIO ASSOCIADAS AO REFORÇO DO ATERRO COM GEOGRELHAS - 2 LINHAS					
Item	Serviços	Unid.	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
1.0 Berma					
1.1	Material Posto em Obra - DMT= 10 km	m³	24471,58	38,04	930898,90
1.2	Compactação sde Aterros 100 % PN	m³	24471,58	4,58	112079,84
1.3	Desapropriação	m²	13056,00	15,00	195840,00
2.0 Reforço de Solo-Geogrelha WG 600					
2.1	Fornecimento e Aplicação	m²	93030	85,50	7954065,00
3.0 Geotêxtil Não Tecido - RT 8 kN/m					
3.1	Fornecimento e Aplicação	m²	30000	3,39	101700,00
4.0 Colchão de Areia Comercial					
4.1	Fornecimento de Areia	m³	14936,25	67,75	1011930,94
				TOTAL R\$	10.306.514,68

Fonte: DEINFRA; Maccafferi do Brasil.

Tabela 17: Tabela de Custos

BERMAS DE EQUILÍBRIO ASSOCIADAS AO REFORÇO DO ATERRO COM GEOGRELHAS - 3 LINHAS					
Item	Serviços	Unid.	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
1.0 Berma					
1.1	Material Posto em Obra - DMT= 10 km	m³	11871,58	38,04	451594,90
1.2	Compactação sde Aterros 100 % PN	m³	11871,58	4,58	54371,84
1.3	Desapropriação	m²	6624,00	15,00	99360,00
2.0 Reforço de Solo-Geogrelha WG 600					
2.1	Fornecimento e Aplicação	m²	138546,00	85,50	11845683,00
3.0 Geotêxtil Não Tecido - RT 8 kN/m					
3.1	Fornecimento e Aplicação	m²	30000,00	3,39	101700,00
4.0 Colchão de Areia Comercial					
4.1	Fornecimento de Areia	m³	14936,25	67,75	1011930,94
				TOTAL R\$	13.564.640,68

Fonte: DEINFRA; Maccafferi do Brasil.

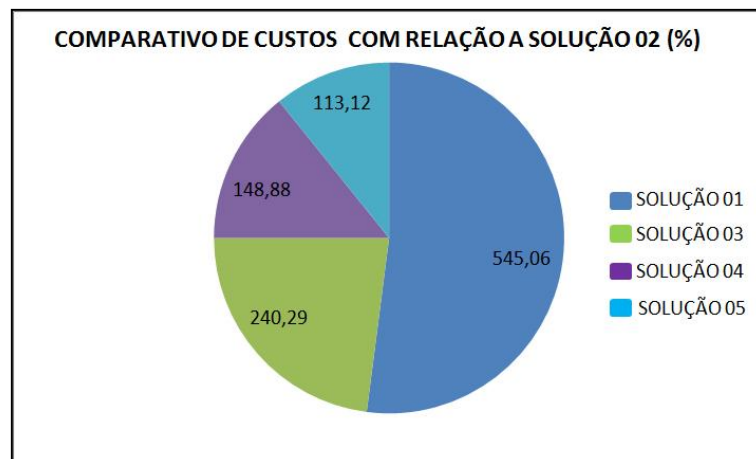
A tabela 18 apresenta o resumo dos custos das soluções.

Tabela 18: Resumo dos Custos

RESUMO DOS CUSTOS (R\$)		
Soluções	Produto	Custo Total R\$
1	Bermas de Equilíbrio	2.815.130,49
2	Reforço do Aterro com Geogrelhas	15.344.079,94
3	Bermas de Equilíbrio associadas ao reforço do aterro com geogrelhas - 1 linha	6.385.690,18
4	Bermas de Equilíbrio associadas ao reforço do aterro com geogrelhas - 2 linhas	10.306.514,68
5	Bermas de Equilíbrio associadas ao reforço do aterro com geogrelhas - 3 linhas	13.564.640,68

Fonte: AUTOR, 2014.

Figura 12: Comparativo de Custos (%)



Fonte: Autor, 2014.

Analisando os custos de cada solução, conclui-se que mesmo exigindo uma grande área de desapropriação, a solução 01 (bermas de equilíbrio com 36,50 metros) é a mais viável econômica e tecnicamente. Caso optassem por não gerar desapropriação, a solução 02 (reforço do aterro com geogrelhas) seria adotada, porém seu custo aumentaria, aproximadamente, 545% em relação à solução 01.

4. CONCLUSÕES

Através do presente estudo, foi possível chegar as seguintes conclusões:

- a) Após a visita a campo e os resultados do ensaio de NSPT, verificou-se a presença de uma grande camada de solo mole com baixa resistência ao cisalhamento. Devido a isto, foi indispensável o estudo de uma possível ruptura global, adotando-se $FS \geq 1,500$, frente às grandes chances de perdas humanas e materiais, em virtude da instalação de uma empresa na área em questão;
- b) Os valores de coesão não drenada (c_u), atingidos através de correlações, ficaram muito próximos aos valores do ensaio *In Situ*, porém verificou-se que os valores de NSPT ultrapassaram a resistência real do solo mole, adotando-se então as informações do vane Test;
- c) A altura crítica calculada de 3,50 metros foi inferior à cota de inundação do município (5,00 metros), o que inviabilizou a execução do aterro sem a introdução de medidas estabilizadoras que garantissem o FS adotado;
- d) Foram encontradas cinco soluções tecnicamente viáveis, assim, a solução adotada foi baseada na viabilidade econômica, onde bermas de equilíbrio com 36,50 metros de largura e 2,25 metros de altura, apesar de exigirem grande área de desapropriação, mostraram-se compensatórias, devido o custo inferior as demais, chegando a uma diferença de aproximadamente 545% com relação à solução de reforço do aterro com geogrelhas, que dispensa a compra de área para sua implantação.

Logo, o estudo realizado, mostra que hoje, a solução mais adequada economicamente seria a construção de bermas de equilíbrio.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Sondagens de simples reconhecimento com SPT: NBR 6484. Rio de Janeiro, 2001.

CARDOSO, João Manoel. **Projeto Geotécnico de Fundações Profundas em Solos Moles-Estudo de caso**. Artigo (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma. 2013.

CERUTTI, Ricardo. **Análise de Estabilidade e Recalques de um Aterro Sobre Solo Mole – Estudo de Caso**. Artigo (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma. 2011.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. **Fundações Diretas: projeto geotécnico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 140 p.

DAS, Braja M., **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**, São Paulo: Thomson, 2007. 559 p.

GEORIO. **Manual Técnico de Encostas. Ancoragens e Grampos**. Volume 04, 2ª edição, 2000.

HACHICH, WALDEMAR, et al, **Fundações Teoria e Prática**, São Paulo: Pini 1998. 751p.

HIGASHI, Rafael Augusto dos Reis. **Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras através de SIG com base no Comportamento Geotécnico e Ambiental**. Tese (Graduação em Doutor em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2006.

LEMOS, Mayckon Sullivan Amaral. **Reforço de subleito com geogrelha-estudo de casa**. Artigo (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma. 2013.

LOPES, Francisco; VELLOSO, Dirceu, **Fundações**, São Paulo: Oficina de Textos 2004. 226 p.

SANTOS, Nicolas Coelho. **Análise de Estabilidade de Aterro Sobre Solos Moles – (PI09) – Estudo de Caso**. 138 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma. 2008.